

УДК 631.372.43.03

С.А. Плотников¹, А.Н. Карташевич¹, П.Н. Черемисинов¹, А.А. Миронов²**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОТ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ДИЗЕЛЯ 4ЧН 11,0/12,5
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАПСОВОГО МАСЛА**Вятский государственный университет¹Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева²

Объектом исследования является дизель 4ЧН 11,0/12,5, работающий на топливах с добавками рапсового масла. Исследование включало проведение стендовых испытаний дизеля и полевых испытаний трактора Беларус-922. Целью исследования было определение показателей токсичности дизеля на стенде и в составе тракторного агрегата. Методология – стендовые испытания дизеля и полевые испытания трактора Беларус-922. Проведенные исследования и анализ их результатов позволили определить технико-экономическую эффективность применения рапсового масла в дизельном двигателе.

Ключевые слова: дизель, рапсовое масло, смесевое топливо, стендовые испытания, эффективные показатели.

Одним из главных источников энергии в наземных транспортных средствах является дизельный двигатель. Перспективы исчерпывания сырьевой базы нефтяного топлива, а также спрос на экологически чистые технологии ставят проблему поиска и внедрения заменителей дизельного топлива (ДТ), не загрязняющих окружающую среду и не нарушающих природного равновесия. Поиски новых источников энергии имеют целый ряд причин: ограниченность запасов обычных источников, зависимость от стран-экспортеров нефти, парниковый эффект, который обусловлен поступлением в атмосферу двуокиси углерода, загрязнение атмосферы выхлопными газами. В итоге все чаще применяются так называемые альтернативные топлива, в частности, получаемые из растительных масел. Для европейских условий наиболее перспективным считается рапсовое масло. Его использование возможно в дизельных двигателях, как в чистом виде, так и после химической переработки [1].

Цель настоящей работы – изучение энергетических показателей, показателей токсичности, дымности МТА, выявление эффективности работы МТА на различных видах топлива, оценка возможности улучшения свойств смесевых топлив и расширение путей использования рапсового масла (РМ) в качестве альтернативного топлива.

Применение РМ в чистом виде затруднено в силу отличия свойств нефтяного и растительного топлива. Различие этих свойств обуславливает особенности работы двигателя на чистом РМ и его смесях с дизельным топливом. Исследователями данной проблемы отмечается, что показатели рабочего процесса двигателя связаны с особенностями процессов испарения, смесеобразования и сгорания РМ [2]. Отмечается, что использование чистого РМ требует конструктивных изменений в двигателе, в частности: увеличение проходных сечений топливоподающей аппаратуры, использование добавочных фильтров или более частая их замена, усиление топливopодкачивающего насоса, подогрев масла, установка в камере сгорания модернизированных форсунок. Соответственно, одной из задач настоящих исследований была разработка элементов и систем питания дизеля для нормальной работы дизеля на новых составах топлива. В ходе исследований были разработаны система регулирования дизеля, а также смеситель топлив [3, 4]. Есть все основания предполагать, что при использовании смесей РМ с дизельным топливом есть возможность избежать изменений в конструкции двигателя.

Известно, что на технико-экономические показатели двигателя влияет как химический состав масла, так и тип двигателя, на котором проводятся испытания [5]. Для снижения кинематической вязкости смесей рапсового масла с дизельным топливом, в общем случае, возможна добавка присадок. Следующей задачей исследований стало создание композиции с улучшенными эксплуатационными свойствами. Были проведены работы по изучению свойств рапсового масла в сравнении с маслами нефтяного происхождения, выявлению эффективности присадок различного функционального назначения для оценки возможности улучшения и расширения использования рапсового масла [6]. В результате разработан оригинальный состав топливной композиции на основе ДТ, РМ и присадок с улучшенными эксплуатационными свойствами [7].

При переводе силовой установки трактора для работы на смеси РМ с ДТ важно сохранить мощностные и экономические показатели дизеля на уровне, установленном заводом-изготовителем. Для выполнения этого условия необходимо определить оптимальные регулировки системы топливоподачи дизеля. С этой целью первоначально было установлено влияние добавления РМ в ДТ на значения оптимального установочного угла опережения впрыскивания топлива [8].

Влияние присутствия рапсового масла в суммарном топливе на изменение показателей токсичности и дымности дизеля можно рассмотреть и по скоростным характеристикам на номинальной нагрузке (рис. 1, 2).

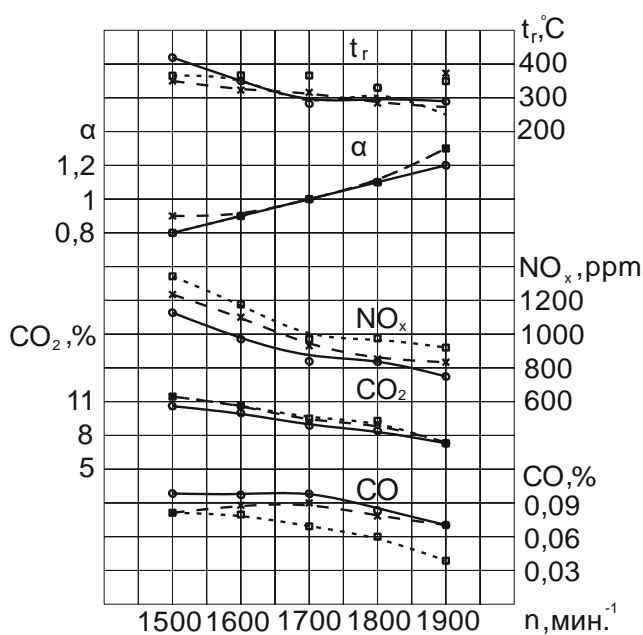


Рис. 1. Показатели токсичности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения при $p_e = 0,943 \text{ МПа}$:
 \circ — дизельное топливо;
 \times — 25% рапсового масла в топливе;
 \square — 45% рапсового масла в топливе

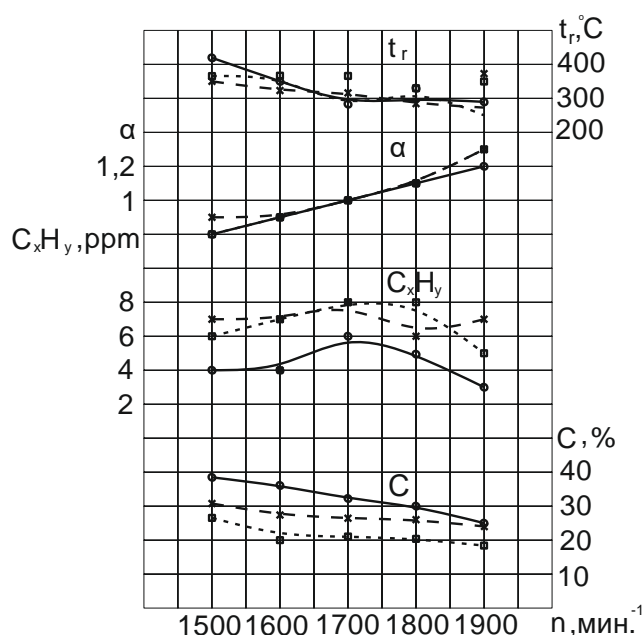


Рис. 2. Показатели дымности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения при $p_e = 0,943 \text{ МПа}$:
 \circ — дизельное топливо;
 \times — 25% рапсового масла в топливе;
 \square — 45% рапсового масла в топливе

Анализ графиков показывает, что при увеличении частоты вращения содержание оксидов азота, оксидов углерода, диоксида углерода, концентрации сажи уменьшается. При номинальной частоте вращения показатели имеют следующие значения, соответственно, для чистого ДТ и случаев присутствия в суммарном топливе 20 % и 45 % РМ, указанные ниже. Содержание оксидов углерода: $\text{CO}_{\text{ДТ}} = 0,085 \%$, $\text{CO}_{\text{РМ20}} = 0,08 \%$, $\text{CO}_{\text{РМ45}} = 0,06 \%$. Содержание диоксидов углерода: $\text{CO}_{2\text{ДТ}} = 8,3 \%$, $\text{CO}_{2\text{РМ20}} = 9 \%$, $\text{CO}_{2\text{РМ45}} = 9,3 \%$. Содержание оксидов

азота: $\text{NO}_{\text{хДТ}} = 818$ ppm, $\text{NO}_{\text{хPM20}} = 826$ ppm, $\text{NO}_{\text{хPM45}} = 983$ ppm. Содержание сажи: $\text{C}_{\text{ДТ}} = 30$ %, $\text{C}_{\text{PM20}} = 26$ %, $\text{C}_{\text{PM45}} = 20,5$ %.

Учитывая, что проводимые исследования направлены на оценку возможности использования топливных композиций в условиях реальной эксплуатации, в дальнейшем были определены энергетические показатели Трактора Беларус-922 при работе на топливе с добавками РМ в полевых условиях (рис. 3). Тяговые испытания проводились в соответствии с ГОСТ 7057-2001. Условия испытаний (метеорологические, характеристики поля и почвы) определялись согласно ГОСТ 20915-2011. Тяговые показатели определялись нагружением движущегося трактора плугом ПЛН-3-35, приложенным к тягово-сцепному устройству согласно ГОСТ 30745-2001. После снятия показателей энергетической оценки машинно-тракторного агрегата (МТА) в процессе испытаний производился расчет согласно ГОСТ Р 52777-2007. Энергетическая эффективность трактора оценивалась согласно использованию теплового потока, подводимого в двигатель в различных эксплуатационных режимах работы МТА.



Рис. 3. Общий вид трактора Беларус-922 с плугом ПЛН-3-35 при полевых испытаниях

Влияние РМ на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля в зависимости от скорости движения трактора представлено на рис. 4.

При анализе графика (рис. 4) видно, что содержание суммарных углеводородов C_xH_y в ОГ изменяется неоднозначно. Так, при скорости движения трактора $V = 7,5$ км/ч, концентрация C_xH_y при работе на чистом ДТ составляет 7 ppm, для случая присутствия 20 % РМ в смеси – 16 ppm, для случая с 45 % РМ в смеси – 5 ppm. При скорости движения трактора $V = 9,5$ км/ч концентрация C_xH_y для случая чистого ДТ равна 12 ppm, для случая 20 % РМ в смеси – 21 ppm, для случая 45 % РМ в смеси – 8 ppm.

Из графика также видно, что содержание оксидов азота NO_x в ОГ при работе на смеси уменьшается. Так, при скорости движения трактора $V = 7,5$ км/ч концентрация NO_x в ОГ для случая чистого ДТ составляет 630 ppm, для смеси, содержащей 45 % РМ, при той же скорости движения это значение равно 570 ppm.

При скорости движения трактора $V = 9,5$ км/ч концентрация оксидов азота в ОГ для случая чистого ДТ составляет 890 ppm, для смеси, содержащей 45 % РМ значение равно 920 ppm. Согласно термической природе образования оксидов азота NO_x их эмиссия находится в прямой зависимости от содержания свободного кислорода в пламени при условии

достаточно высокой его температуры. Снижение локальной и средней температур цикла в случае работы на топливной композиции, как было показано ранее [8], непосредственно обуславливает снижение эмиссии оксидов азота. В то же время концентрация NO_x находится в прямой зависимости от величины нагрузки, так как параллельно с нагрузкой растет температура ОГ.

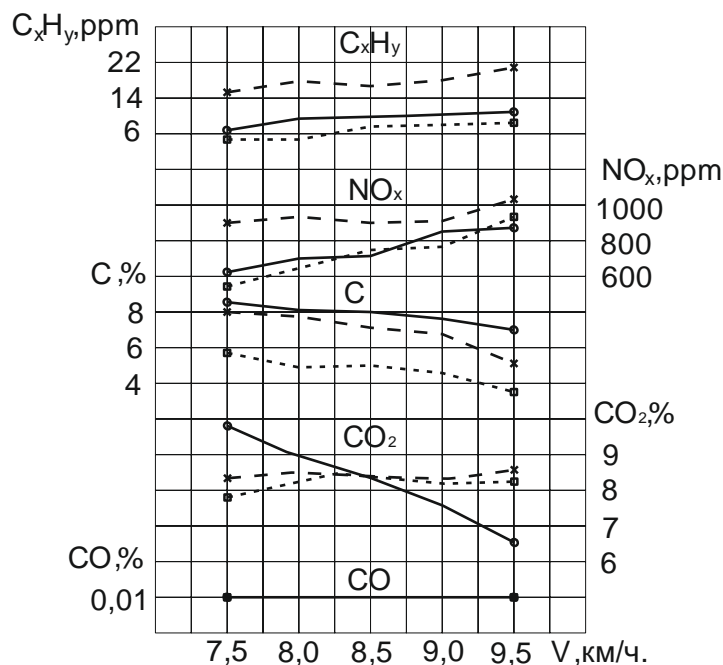


Рис. 4. Показатели дымности и токсичности трактора в зависимости от скорости движения:

- — дизельное топливо;
- * — 25% рапсового масла в топливе;
- — 45% рапсового масла в топливе

Характер кривых изменения уровня концентрации CO примерно одинаков, как при работе на ДТ, так и на смесях ДТ с РМ. При увеличении скорости движения трактора содержание CO в ОГ практически не изменяется. Как при скорости движения трактора $V = 7,5$ км/ч, так и при $V = 9,5$ км/ч, содержание CO для случая работы на чистом ДТ и случае работы с добавками РМ составляет 0,01 %.

Изменение содержания в ОГ CO_2 неоднозначно. Так, при скорости движения трактора $V = 7,5$ км/ч концентрация в ОГ для случая чистого ДТ составляет 9,8 %, а для смесей, содержащих 20 % и 45 % РМ, при той же скорости движения, эти значения, соответственно, равны 8,4 % и 7,8 %. При увеличении скорости движения трактора до $V = 9,5$ км/ч содержание CO_2 в ОГ для случая чистого ДТ составляет 6,5 %, а для смесей, содержащих 20 % и 45 % РМ, при той же скорости эти значения, соответственно, равны 8,6 % и 8,2 %. Согласно классической схеме образования оксидов CO и диоксидов CO_2 , весь образующийся в пламени углерод вначале окисляется в CO и лишь затем, при наличии свободного кислорода, превращается в CO_2 .

При работе дизеля на смеси ДТ с РМ, содержание сажи в ОГ также снижается по сравнению с работой на чистом ДТ. С увеличением скорости движения трактора, характер кривых содержания в ОГ сажи также примерно одинаков. Так, при скорости движения трактора $V = 7,5$ км/ч концентрация в ОГ для случая чистого ДТ составляет 9,3 %, а для смесей, содержащих 20 % и 45 % РМ, при той же скорости эти значения, соответственно, равны 8 % и 5,9 %. При увеличении скорости движения трактора до $V = 9,5$ км/ч, содержание сажи в ОГ при чистом дизельном топливе составляет 7,1 %.

Для смесей, содержащих 20 % и 45 % РМ, при той же скорости эти значения, соответственно, равны 5,2 % и 3,8 %.

Можно предположить, что снижение вызвано меньшей склонностью рапсового масла к дымлению по сравнению с дизельным топливом. Для оценки применения в качестве альтернативного топлива смеси на основе РМ был произведен расчет эффективности применения альтернативного топлива. Данные расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные расчета эффективности применения альтернативного топлива

Показатели	100%ДТ	55%ДТ + 45%РМ
Модель ДВС: Д-245.5S2		
Стоимость средства для подачи АТ C_1 , руб.	-	500
Концентрация NO_x в ОГ при работе на ДТ, %, ppm	8,6	-
Концентрация NO_x в ОГ при работе на АТ, %, ppm	-	5,9
Концентрация С в ОГ при работе на ДТ, ед. Bosch, %	24	-
Концентрация С в ОГ при работе на АТ, ед. Bosch, %	-	15
Коэффициент годовой сменности устройства	1	1
Стоимость 1 кг топлива, руб.		40
Изменение потребления дизелем топлива при работе на АТ, кг/ч	-	4,7
Годовая наработка двигателя, мото-ч		1500
Стоимость эксплуатации, обслуживания и ремонта C_2 , руб/год		5000
Стоимость расходов, связанных с применением альтернативного топлива, $C_п$, руб		287500
Эффективность снижения токсичности ОГ η_i для NO_x , %		31,395
Эффективность снижения токсичности ОГ η_i для С, %		37,5
Значение показателя К при снижении NO_x в ОГ, руб/%		13153,1
Значение показателя К при снижении С в ОГ, руб/%		7666,67
Экономический эффект от снижения ущерба, наносимого ОГ окружающей среде, руб/1 трактор (1500 мото-ч) в год		7560

Заключение

При переводе дизеля для работы на смесях РМ и ДТ концентрации вредных веществ в ОГ уменьшаются. Так, концентрация сажи в ОГ при добавлении 45 % РМ уменьшается во всем диапазоне частот на 7-15 %, по сравнению с работой на чистом ДТ. Концентрация СО в ОГ дизеля уменьшается на 20-43 % во всем диапазоне частот вращения. При работе трактора в условиях реальной эксплуатации, на вспашке, концентрация сажи снижается на 3-6 %, по сравнению с работой на чистом ДТ. Данные расчета эффективности применения альтернативного топлива показали экономический эффект от снижения ущерба, наносимого ОГ окружающей среде в объеме 7560 руб. из расчета на один трактор в год.

Библиографический список

1. **Карташевич, А.Н.** Возобновляемые источники энергии / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2007. – 264 с.
2. **Гусаков, С.** Особенности применения чистого рапсового масла в качестве топлива в малоразмерных высокооборотных дизелях / С. Гусаков, П. Вальехо // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 4. – С. 58-62.
3. Пат. 2626524 Российская Федерация, МПК F02D 1/04. Система регулирования дизеля / С.А. Плотников, М.В. Смольников, П.Н. Черемисинов. – 4 с., 1 ил.
4. Пат. 2637904 Российская Федерация, МПК B01F 7/24. Смеситель топлив / С.А. Плотников, А.Н. Карташевич, М.В. Смольников, П.Н. Черемисинов, К.П. Мельников. – 3 с.
5. **Вальехо, П.** Применение отдельной подачи топлива растительного происхождения в малоразмерный дизель с целью улучшения его экологических показателей: дис. канд. техн. наук: 05.04.02 / Пабло Вальехо. – М., 2000. – 185 с.
6. **Плотников, С.А.** Исследование свойств альтернативных топлив на основе рапсового масла / С.А. Плотников, П.Н. Черемисинов // Общество, Наука, Инновации (НПК-2017). Всерос. ежегод. науч.-практ. конф. (1-29 апреля 2017 г.). Сб. статей. – Киров, 2017. – С. 1875-1881.
7. Пат. 2642080 Российская Федерация, МПК C10D 1/08. Топливная композиция / Плотников С.А., Карташевич А.Н., Черемисинов П.Н. – 2 с., 1 табл.
8. **Плотников, С.А.** Улучшение смесей дизельного топлива с рапсовым маслом для использования в тракторных дизелях / С.А. Плотников, А.Н. Карташевич, П.Н. Черемисинов // Двигателестроение. – 2017. – № 4. – С. 21-24.

*Дата поступления
в редакцию: 06.02.2019*

S.A. Plotnikov¹, A.N. Kartashevich¹, P.N. Cheremisinov¹, A.A. Mironov²

**RESEARCH OF ECONOMIC EFFICIENCY FROM REDUCTION IN TOXICITY
OF THE DIESEL ENGINE 4CHN 11,0/12,5 BY APPLICATION RAPE SEED OIL**

Vyatka state University, Kirov¹

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev²

Object of research is the diesel engine 4CHN 11,0/12,5, working on fuels with additives rape seed oil.

Research problem was carrying out of bench tests of a diesel engine and field tests of tractor Belarus-922.

The purpose of research was definition of parameters toxicity of a diesel engine at the stand and in structure of the tractor unit.

Methods of the present researches were bench tests of a diesel engine and field tests of tractor Belarus-922.

The carried out researches and their analysis have allowed to define technical and economic efficiency of application rape seed oil in the diesel engine.

Key words: diesel, rape seed oil, blend fuel, bench tests, effective indices.